

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 8 7 3 3 0

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 4 月 2 日

(51) Int. Cl.
G05D 3/12

識別記号 305 L

F I

技術表示箇所

B25J 9/10

V

G05B 13/02

A

P 9131-3H

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平 6 - 2 2 4 6 5 6

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 9 月 20 日

(71) 出願人 0 0 0 0 0 5 2 2 3

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番
地

(72) 発明者 渡辺 一郎

神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番
地 富士通株式会社内

(72) 発明者 青木 孝

神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番
地 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 文廣 (外 2 名)

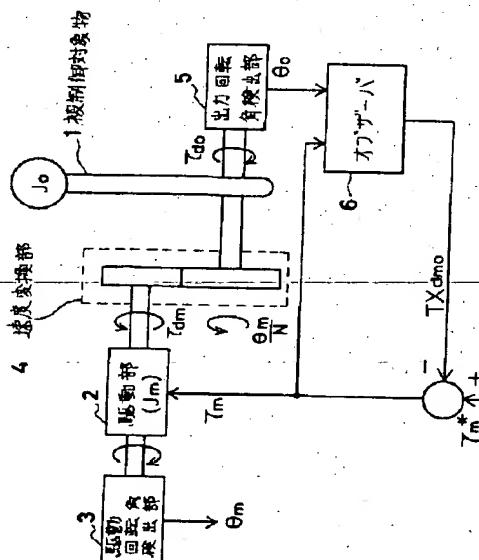
(54) 【発明の名称】 自動制御装置

(57) 【要約】

【目的】 ロボットの関節等の制御を行う自動制御装置
に関し、被制御対象物の制御を高精度に行うことを目的
とする。

【構成】 駆動部と、回転速度変換部と、被制御対象物
と、被制御物体の回転角を検出する出力回転角出力部と
を備えた自動制御装置において、一般化外乱を推定する
オブザーバを備え、該オブザーバの推定値を駆動部にフ
ィードバックする構成を持つ。

本発明の基本構成



【特許請求の範囲】

【請求項1】 駆動部と、速度変換部と、被制御対象物と、被制御対象物の回転角を検出する出力回転角検出部と、系に加わる各種外乱や、パラメータ変動による等価的な外乱、等の総和である一般化外乱を推定するオブザーバを備え、該オブザーバは、出力回転角検出部の出力と、駆動部への入力指令とに基づいて、一般化外乱が駆動部に集中的に印加されたと仮定した換算値を出力し、該出力を駆動部にフィードバックすることを特徴とする自動制御装置。

【請求項2】 請求項1において、入力指令は加速度指令値を指示するものであることを特徴とする自動制御装置。

【請求項3】 請求項2において、指令入力の前に応答特性を改善するための前置きフィルターを備えたことを特徴とする自動制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ロボットの関節等の制御を行う自動制御装置に関する。ロボット技術はFAを中心として広く普及し、生産の効率化などに寄与してきた。本発明は、ロボット関節等の被制御対象物を高精度に制御できる自動制御装置を提供する。

【0002】

【従来の技術】 FA用などに導入されているロボットは、その可搬重量を大きく取れるようにするために、関節にハーモニックギアなどの減速器（減速部）を設け、1/50ないし1/100程度にモータの回転を減速して関節を駆動するようにしている。そして、位置決め分解能を確保するため減速する前のモータ軸にモータの回転角検出器を設け、一般的なPID制御系、もしくは外乱推定オブザーバを設ける等でモータの回転角を制御するようにしていた。

$$(J_1 + J_2) d^2 \theta_1 / dt^2 + D_1 d\theta_1 / dt = \tau_1 + \tau_{11} \quad (1)$$

である。

【0012】 J_1 は変動するので代表値を J_{11} とし、変

$$J_1 = J_{11} + \Delta J_1$$

である。

$$(J_{11} + J_2) d^2 \theta_1 / dt^2 = \tau_1 + (\tau_{11} - \Delta J_1 d^2 \theta_1 / dt^2 - D_1 d\theta_1 / dt) \quad (2)$$

である。

【0014】 ここで、 J_2 の変動により生ずるトルク $(-\Delta J_2 d^2 \theta_2 / dt^2)$ および粘性抵抗 D_2 により生じるトルク $(-D_2 d\theta_2 / dt)$ を外乱トルク

$$(J_{21} + J_2) d^2 \theta_2 / dt^2 = \tau_2 + T_{21} \quad (4)$$

ここで、図5に示すように、この一般化外乱トルク T_{21} を推定するオブザーバ113を構成し、図5のようにフ

$$(J_{21} + J_2) d^2 \theta_2 / dt^2 = \tau_2 + (T_{21} - T_{X21}) \quad (5)$$

となり、もし、推定値 T_{X21} が T_{21} を充分良く推定する

$$(J_{21} + J_2) d^2 \theta_2 / dt^2 = \tau_2 \quad (6)$$

【0003】 図5、6は従来のロボット関節を示す。図5は従来の技術説明図1であって、DDモータにより直接にロボットアームの変位（角）を制御する例である。

【0004】 図5において、110はロボットアームである（但し、該関節より先端寄りの関節、アームのもつ対象負荷なども含む）。

【0005】 111はモータであって、ロボットアーム110を駆動するものである。112はモータシャフトエンコーダであって、モータ111の回転角を検出するものである。

【0006】 113はオブザーバであって、モータシャフトに対する外乱を推定するものである。 θ_1 はモータ111の回転角である。

【0007】 J_1 はモータ111の慣性モーメントである。 J_2 はロボットアーム110の慣性モーメントである（但し、関節より先端寄りの関節や、アームのもつ対象負荷に起因する部分を含む）。

【0008】 τ_1 はモータへの入力トルク指令である。 D_1 はモータの軸受の粘性抵抗である。 τ_{11} は外乱トルクである。

【0009】 T_{X11} は一般化外乱トルクの推定値であって、遠心力、コリオリ力、重力、軸受摩擦や、パラメータ変動によるトルク外乱を含むモータシャフトへの外乱トルクの総和の推定値である（以下、本明細書では“X”を付記して推定値を表記する）。

【0010】 τ_1 は制御系への入力トルク指令である。図5はロボットの1関節部分のみを示す。実際には図5のロボットアーム110の先端に次々に別の関節がつながるものである。また、ロボットアームの慣性モーメント J_2 はロボットアーム110のもつ対象物の質量の変動や、連結された他の関節の変形（回転）により変動するものである。

【0011】 図5の制御対象の運動方程式は、

動量を ΔJ_1 とすると、

【0013】 (2) 式を (1) 式に代入して整理すると、

として扱い、右辺の第2項のかっこ内を、あらためて一般化外乱トルク T_{21} と定義する。

【0015】

フィードバックする。 (5) $\tau_2 = \tau_2$

$-T_{X21}$ とし、(4) に代入すると、

なら、

(7)

というシステムが実現できたことになる（但し、フィードバック系が安定である範囲内においてである）。図5の場合、新しく設定した入力トルク指令 τ_e に比例した回転加速度 $d^2 \theta_e / dt^2$ を発生する理想的なアクチュエータシステムができたことになる。

【0016】従来のこのような方法のメリットは、ひとつは、外乱推定値を十分良く推定するオブザーバを構成することにより(7)式を理想的に成立させる系とすることができ、外乱の影響を受けないシステムが実現できることになる。もう一つは、変動するパラメータに起因するトルク（ここでは ΔJ 、 $d^2 \theta_e / dt^2$ ）や不要な特性（ D 、 $d \theta_e / dt$ 等）を、一般化外乱トルクに含めてしまい、それを推定してフィードバックすることにより、新しい理想特性（ここでは(7)式を満たす特性）

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_m \\ \dot{\theta}_m \\ T_{dm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_{on} + J_m} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_m \\ \dot{\theta}_m \\ T_{dm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{1}{J_{on} + J_m} \tau_m \quad (9)$$

$$\theta_m = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_m \\ \dot{\theta}_m \\ T_{dm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

【0020】が外乱のダイナミクスを含む拡大系の状態方程式となる。この系の T_{dm} を推定するオブザーバを通常の方法に従って構成すれば良い。例えば、ゴビナスの方法などによって、最小次元オブザーバを構成できる。

【0021】図6は従来の技術の説明図2であって、モータシャフトと、ロボットアームの間に減速部をもつロボット関節を示す。図6において、110はロボットアームである（但し、該関節より先端寄りの関節およびアームの持つ対象負荷などを含む）。

【0022】111はモータであって、ロボットアーム110を駆動するものである。112はモータシャフトエンコーダであって、モータ111の回転角を検出するものである。

【0023】113はオブザーバであって、モータシャフトに対する外乱を推定するものである。114は速度変換部（減速部）であって、速度比 $(1/N)$ である。

【0024】 θ_e はモータ111の回転角である。 θ_o は出力の回転軸の回転角である。 J はモータ111の慣性モーメントである。

【0025】 J はロボットアーム110の慣性モーメントである（但し、該関節より先端寄りの関節およびアームの持つ対象負荷などに起因する分を含む）。 τ_e はモータへの入力トルク指令である。

を有するシステムが実現できることである。しかも、その特性は、制御対象のパラメータ変動によらず一定にできる（但し、フィードバック系が安定である範囲内においてである）。

【0017】一般化外乱トルク T_{de} を推定するオブザーバは、外乱のダイナミクスを仮定し、(4)式の示すダイナミクスと合わせて拡大系とし、それに対してオブザーバを構成することによって得られる。普通、外乱のダイナミクスに対しては、たとえば簡単に、

$$dT_{de}/dt = 0$$

が用いられる。

【0018】このとき、(4)式と合わせて、

$$【0019】$$

【数1】

【0026】 D はモータ111の軸受の粘性抵抗である。 D は速度変換部114の軸受および出力シャフトの軸受の粘性抵抗である。 τ_{de} は外乱トルクであって、出力シャフトに対する外乱トルクである。

【0027】 τ_{de} は外乱トルクであって、モータ111のシャフトに対する外乱トルクである。 K は速度変換部114の剛性である。

【0028】 TX_{de} は一般化外乱トルクの推定値であって、遠心力、コリオリ力、重力、軸受摩擦やパラメータ変動によるトルク外乱等を含むモータシャフトへの外乱トルクの総和である。

【0029】従来、FAロボットのアーム制御などにおいては、モータ軸の回転量を検出してフィードバックするのが一般的で、例えば、PID制御系などを用いて制御されてきた。また、その制御系として、PID制御のかわりに図5に示した制御系と同等の制御系を図6のように構成する場合もある。

【0030】さて、図5はDDモータを用いた関節に対する従来例であり、以上述べたように効果的に機能することが知られている。一方、本発明で扱うのは、例えば、図6中の点線より上に示すように減速器などの回転角変換機構を有する関節の制御に関するものである。

（従来このような制御対象に対し、FAロボットなどに

おいては、モータ軸の回転量を検出してフィードバックするのが、一般的で、例えば、PID制御系などを用いて制御されてきた。また、その制御系として、PID制御のかわりに、図5に示した制御系と同等の制御系を図6のように構成する場合もある。)

【0031】

【発明が解決しようとする課題】図6に示すようにモータの軸の回転をモータ軸に取り付けたモータシャフトエンコーダ(回転角検出器)112により検出してフィードバックしモータの回転角を制御する従来の方法では、ロボットアームの手先の位置決め精度は減速後の回転角の精度に依存し、「(a)減速部(速度変換部)のバックラッシュや摩擦などに起因する減速後の回転角の誤差に関しては、従来のモータ軸の回転角をフィードバックする制御方法では制御が不可能」であり、減速器自身の機械精度や剛性をあげることによってしか、手先の位置決め精度を改善することはできなかった。

【0032】一方、減速後の回転角のフィードバック制御によって上記「(a)」の欠点を改善しようとする、減速器と出力軸の負荷質量(イナーシャ)による共振特性に起因する位相遅れが発生し、これを考慮しないと安定性を保持しながら、出力軸回転角フィードバック制御の高帯域化を図ることはできなかった。

【0033】本発明は、減速器等の回転角変換部を持ち、変換後の対象の位置をフィードバックする制御システムにおいて、制御対象物の制御を高速、かつ安定に行うことのできる自動制御装置を提供することを目的とする。

【0034】

【課題を解決するための手段】本発明は、駆動部と、回転速度変換部と、被制御対象物と、被制御物体の回転角を検出する出力回転角検出部とを備えた自動制御装置において、出力軸の回転角を検出し、その値を使用して系に加わるさまざまな外乱の総和を駆動部に加わったとみなして換算した一般化外乱を推定するオブザーバーを備えるようにし、オブザーバーの推定値を駆動部にフィードバックするようにした。本発明において、一般化外乱とは、系に加わる各種外乱やパラメータ変動による等価的な外乱等の総和である。

【0035】図1は本発明の基本構成を示す。図1において、1は被制御対象物であって、ロボットのアーム等である。

【0036】2は駆動部であって、モータ等である。3は駆動回転角検出部であって、駆動部2の回転角を検出するものである。4は速度変換部であって、駆動部2の回転角 θ を θ/N ($N>0$) に変換する等の速度変換をするものである。

【0037】5は出力回転角検出部であって、被制御対象物の回転角を検出するものである。6はオブザーバであって、出力回転角検出部5により検出される回転角と

駆動部の回転トルク τ に基づいて外乱推定するものである。

【0038】J₁は被制御対象物の慣性モーメントである。J₂は駆動部2の慣性モーメントである。 θ_1 は駆動部2の回転角である。

【0039】 θ_2 は出力回転角の検出部5の検出した回転角である。 τ_1 は駆動部2を駆動する回転トルクである。 τ_{11} は駆動部2への外乱トルクである。

【0040】 τ_{12} は被制御対象物1への外乱トルクである。TX₁₁は推定された一般化外乱である。 τ_1' は制御系への入力トルク指令である。

【0041】

【作用】図1の本発明の基本構成の動作を説明する。図1において、駆動部2の入力トルク τ に対して外乱トルク τ_{11} が作用する。速度変換部4は駆動部2の回転出力を θ_2/N に変換する。 $N>0$ で良いが、通常は $N\geq 1$ として回転を減速して出力する。

【0042】被制御対象物1の回転に対して外乱トルク τ_{12} が作用する。オブザーバ6は出力軸の回転をもとに、外乱トルク τ_{11} や外乱トルク τ_{12} 等の実際の外乱トルクや、パラメータ変動等により生じる等価的な外乱トルクを含む外乱トルクの総和を駆動部に作用したと仮定して換算した一般化外乱TX₁₁を推定し、駆動部2の入力側にフィードバックし、制御系への入力トルク τ_1' から θ_2 までの特性が望ましくなるように制御する。

【0043】本発明によれば、

- (1) 減速器のバックラッシュや摩擦に起因する位置決め誤差を除去する。
- (2) 減速器の剛性と出力軸側の質量による共振特性に起因する振動を制御できる。さらに、
- (3) 制御対象のパラメータ変動によらず、振動特性を抑制できる。

【0044】(4) 振動特性を抑えながら高速な加速度制御系を構成できる。
などを可能にし、減速器を有するマニピュレータの位置決め高速性、位置決め精度が向上する。

【0045】

【実施例】図2は本発明の実施例1である。図2において、21は被制御対象物であって、ロボットアームである。

【0046】22は駆動部であって、モータである。23は駆動回転角検出部(モータシャフトエンコーダ)であって、駆動部2の回転角を検出するものである。

【0047】24は速度変換部(減速部)であって、駆動部2の回転角 θ_1 を θ_2/N ($N\geq 1$) に変換するものである。25は出力回転角検出部(出力シャフトエンコーダ)であって、被制御対象物の回転角 θ_1 を検出するものである。

【0048】26はオブザーバであって、出力回転角検出部25の検出した回転角 θ_2 と、駆動部の回転トルク

τ 。に基づいて外乱や、パラメータ変動による等価的外乱などの総和が駆動部に作用したとして換算された一般化外乱を推定するものである。

【0049】 J 。は被制御対象物21の慣性モーメントである。 J 。は駆動部22の慣性モーメントである。 θ 。は駆動部22の回転角である。

【0050】 θ 。は出力回転角検出部25の検出した回転角である。 τ 。は駆動部22を駆動する回転トルクである。 τ 。は駆動部22への外乱トルクである。

【0051】 τ 。は被制御対象物1への外乱トルクである。 $T X$ 。は一般化外乱の推定値である。 τ 。は制御系への入力トルク指令である。

【0052】 D 。はモータ22の軸の粘性抵抗である。 D 。は減速部24の出力軸の粘性抵抗である。 K 。は減速部24の出力軸の伝達剛性である。

【0053】図2の動作を説明する。出力軸について次の運動方程式が成り立つ。

$$J \cdot d^2 \theta / dt^2 + D \cdot d \theta / dt + K \cdot (\theta - \theta_0 / N) = \tau, \quad (11)$$

J 。、 D 。、 K 。は変動するので、代表値を J 。、 D 。、 K 。とし、変動値を ΔJ 。、 ΔD 。、 ΔK 。とすると、

$$J = J_0 + \Delta J, \quad D = D_0 + \Delta D, \quad K = K_0 + \Delta K, \quad (12)$$

である。

【0054】(11)式を(12)式に代入して整理すると、

$$J_0 \cdot d^2 \theta / dt^2 + D_0 \cdot d \theta / dt + K_0 \cdot \theta = (K_0 / N) \theta_0 + T, \quad (13)$$

である。

τ 。と、パラメータ変動に起因して発生するトルクとの和である。

【0055】但し、 T 。は出力軸に関しての一般化外乱を示し、以下のように出力軸に純粋に加わる外乱トルク 20

【0056】つまり、

$$T = -\Delta J \cdot d^2 \theta / dt^2 - \Delta D \cdot d \theta / dt - \Delta K \cdot \theta + (\Delta K / N) \theta_0 + \tau, \quad (14)$$

である。

【0057】一方、モータ軸について次式が成立する。

$$J \cdot d^2 \theta / dt^2 + D \cdot d \theta / dt = \tau + \tau_0 + (K / N) (\theta_0 - \theta / N) \quad (15)$$

J 。に変動があるとして、 J 。の代表値を J 。、変動値を ΔJ 。として、

$$J = J_0 + \Delta J, \quad (16)$$

とする。

【0058】(16)を(15)に代入して整理すると、

$$J_0 \cdot d^2 \theta / dt^2 = \tau + T, \quad (17)$$

但し、 T 。はモータ軸に関する一般化外乱を示し、以下 30

【0059】

$$T = -\Delta J \cdot d^2 \theta / dt^2 - D \cdot d \theta / dt + (K / N) (\theta_0 - \theta / N) + \tau, \quad (18)$$

減速部24のギアを介してモータ出力軸に加えられるバックドライブトルク

$$(K / N) (\theta_0 - \theta / N) \quad (19)$$

も T 。に含めている。

に対して、一般化外乱 T 。、 T 。を定義し、簡略化した2本の運動方程式

【0060】以上により、出力軸、モータ軸のそれぞれ

$$J_0 \cdot d^2 \theta / dt^2 + D_0 \cdot d \theta / dt + K_0 \cdot \theta = (K_0 / N) \theta_0 + T, \quad (13)$$

$$J_0 \cdot d^2 \theta / dt^2 = \tau + T, \quad (17)$$

が得られる。

られるが、検出できる状態量(出力)は出力軸の回転角 θ 。だけであり、 T 。、 T 。を独立に推定することは不可能である。そこで、これらの外乱をさらに一括して扱うために以下の変形を行う。まず、(13)式を変形して、

【0061】さて、これらの式に対して外乱のダイナミクスを定義して、 T 。、 T 。を状態変数として含む形の拡大された状態方程式をつくり、それに基づいて、 T 。、 T 。を推定するオブザーバを構成することが考え

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_0 &= -NT_0 / K_0 + (NJ_0 / K_0) d^2 \theta / dt^2 + (ND_0 / K_0) d \theta / dt + N \theta, \\ \dot{T}_0 &= -NT_0 / K_0 + (NJ_0 / K_0) d^2 \theta / dt^2 + (ND_0 / K_0) d \theta / dt + N \theta, \end{aligned} \quad (20)$$

これを2階微分して、

$$d^2 \theta / dt^2 = - (N / K_0) d^2 T_0 / dt^2 + (NJ_0 / K_0) d^2 \theta / dt^2 + (ND_0 / K_0) d^2 \theta / dt + N d \theta,$$

9

10

$$\theta_o / dt' + (ND_{on}/K_{on}) d' \theta_o / dt' + Nd' \theta_o / dt' \quad (21)$$

これを(17)式に代入して整理すると、次の式を得る。 【0062】

$$(NJ_{on}J_{mn}/K_{on}) d' \theta_o / dt' + (ND_{on}J_{mn}/K_{on}) d' \theta_o / dt' + NJ_{on} d' \theta_o / dt' = \tau_o + T_{on} \quad (22)$$

但し、 T_{on} は次のとおりである。 【0063】

$$T_{on} = T_o + (NJ_{on}/K_{on}) d' T_o / dt' \quad (23)$$

ここで T_{on} はモータ軸、出力軸それぞれに対する一般化外乱をモータ軸上で一括した量を表している。

スを仮定し、状態変数に含め、拡大系を構成すると、以下ようになる。例えば、(22)式に対して、外乱 T_{on} のダイナミクス(動特性)を

【0064】(22)式に対して、外乱 T_{on} のダイナミク

$$dT_{on} / dt = 0 \quad (24)$$

とすると、拡大系は、

【数2】

【0065】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_o \\ \dot{\theta}_o \\ \ddot{\theta}_o \\ \ddot{\theta}_o \\ T_{dm0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{K_{on}}{J_{on}} & -\frac{D_{on}}{J_{on}} & \frac{K_{on}}{NJ_{on}J_{mn}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_o \\ \dot{\theta}_o \\ \ddot{\theta}_o \\ \ddot{\theta}_o \\ T_{dm0} \end{bmatrix} + \tau_m$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_{on} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\theta_o = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \theta_o \\ \dot{\theta}_o \\ \ddot{\theta}_o \\ \ddot{\theta}_o \end{bmatrix} \quad (26)$$

$+K_{\theta})$

となる。この式は、右辺3番目の二次特性の共振点より低周波数帯域では、右辺2番目の特性により入力トルク指令 τ_{θ} に比例した出力軸加速度 $d^2\theta/dt^2$ を

$$(d^2\theta/dt^2)/\Gamma_{\theta} = (1/NJ_{\theta})(K_{\theta}/(J_{\theta}s^2 + D_{\theta}s + K_{\theta})) \quad (31)$$

となり、 J_{θ} 、 D_{θ} 、 K_{θ} の値によって、入力トルク指令 τ_{θ} に対する加速度 $d^2\theta/dt^2$ の応答特性を規定できることがわかる。従って、(J_{θ} 、 D_{θ} 、 K_{θ})の値を、振動性のない特性を持つ組に設定することによって、図2、図3の目標値応答を振動性のないものにすることができる。

$$\Gamma_{\theta}/(d^2\theta_{ref}/dt^2) = NJ_{\theta} \quad (32)$$

という変換係数(図3の前置きフィルター1(27)をほどこすことにより、下記の加速度系となる。

$$(d^2\theta/dt^2)/(d^2\theta_{ref}/dt^2) = K_{\theta}/(J_{\theta}s^2 + D_{\theta}s + K_{\theta}) \quad (34)$$

これは、2次系の応答特性を示しているので、標準2次系の ζ 、 ω_n により、以下のように応答特性を指定でき

$$2\zeta\omega_n = D_{\theta}/J_{\theta}, \quad \omega_n^2 = K_{\theta}/J_{\theta} \quad (35)$$

(35)式で、まず ζ 、 ω_n により応答特性を指定し、 J_{θ} を実際値に近い値に設定して、残りの D_{θ} 、 K_{θ} を決定できる(但し、フィードバック系の安定性を考慮する必要がある)。

【0073】(35)式で ω_n をあまり速くすると制御系が不安定になる。そこで、前置きフィルターを設け、フィードフォワードにより速応化を図ったのが図4の実施例

$$(d^2\theta_{ref}/dt^2)/(d^2\theta_{ref}/dt^2) = (\omega_n'^2/(s^2 + 2\zeta'\omega_n's + \omega_n'^2)) \times (J_{\theta}s^2 + D_{\theta}s + K_{\theta})/K_{\theta} \quad (36)$$

を挿入する。ここで、 $d^2\theta_{ref}/dt^2$ は新たな目標値である。

$$(d^2\theta/dt^2)/(d^2\theta_{ref}/dt^2) = \omega_n'^2/(s^2 + 2\zeta'\omega_n's + \omega_n'^2) \quad (37)$$

が新たな目標値特性となり、 ζ' 、 ω_n' をより高速なパラメータとすることにより、高速な目標加速度特性が得られる。ここで、注目すべき点は、(34)式の特性が制御対象のパラメータ変動によらず一定に保たれるので、(36)式がパラメータの変動によらず有効に作用し、(37)式がいつも成立することである。

【0077】

【発明の効果】本発明によれば、回転角変換部のバックラッシュや摩擦に起因する位置決め誤差を除去することができる。回転角変換部の剛性と出力制御軸側の質量による共振特性に起因する振動を制御できる。さらに、制御対象のパラメータ変動によらず振動特性を抑えることができる。

生じることを示している。

【0068】また、出力軸加速度 $d^2\theta/dt^2$ を出力として伝達関数を整理すると、

【0069】(32)式の右辺第1番目の係数($1/NJ_{\theta}$)は入力トルク指令値 τ_{θ} と加速度 $d^2\theta/dt^2$ の静的関係を示しているから、逆数係数を施すことによって、加速度指令値を受け付ける加速度制御系とすることができる。

【0070】(32)式に対して、

【0071】

る。

【0072】

である。

【0074】図4は本発明の実施例3である。図4において、図2と共通番号、共通名称は共通部分を示す。28は前置きフィルタ2である。

【0075】(34)式の構成(図3、図4の前置きフィルタ1(27))の前に、

【0076】 $d^2\theta_{ref}/dt^2$ を新たな目標値とし、

性、位置決め精度の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成を示す図である。

【図2】本発明の実施例1を示す図である。

【図3】本発明の実施例2を示す図である。

【図4】本発明の実施例3を示す図である。

【図5】従来の技術の説明図1である。

【図6】従来の技術の説明図2である。

【符号の説明】

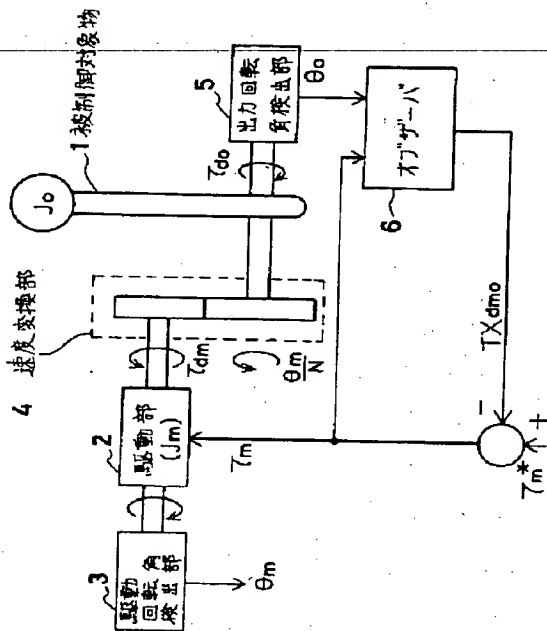
1：被制御対象物

2：駆動部

3：駆動回転角検出部

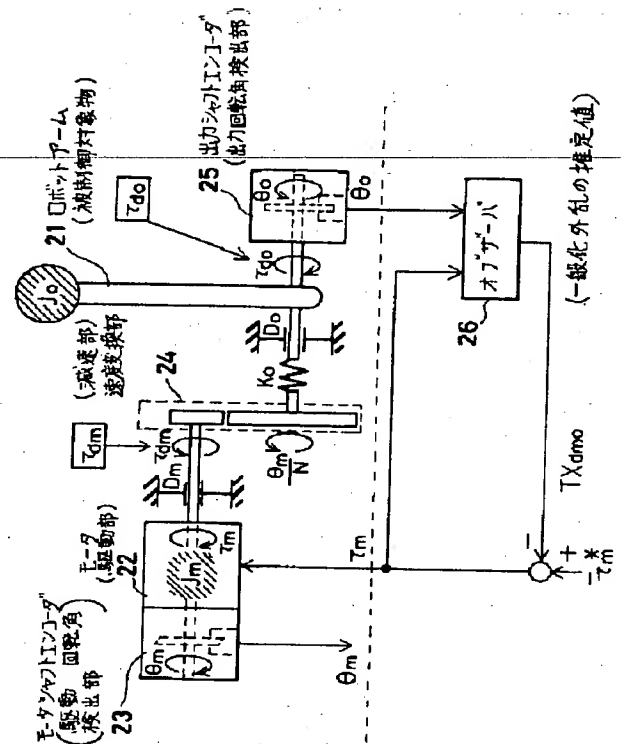
【図 1】

本発明の基本構成



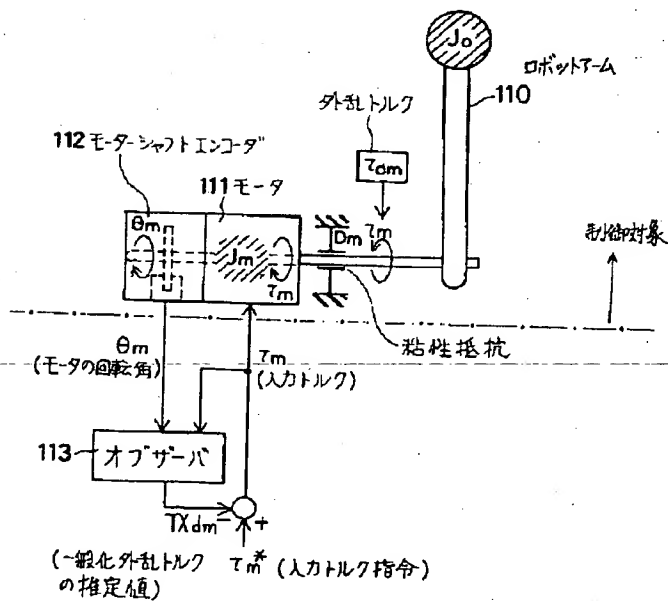
【図 2】

本発明の実施例 1



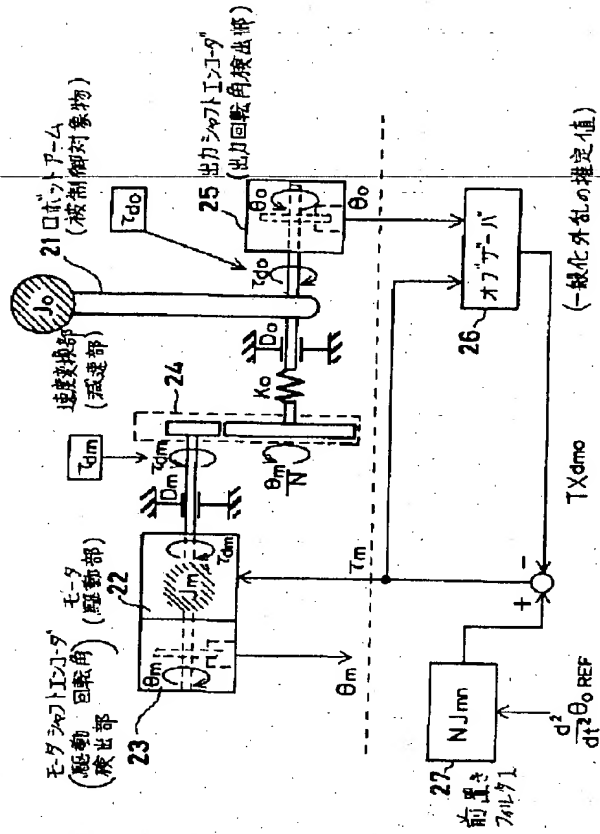
【図 5】

従来の技術の説明図 1



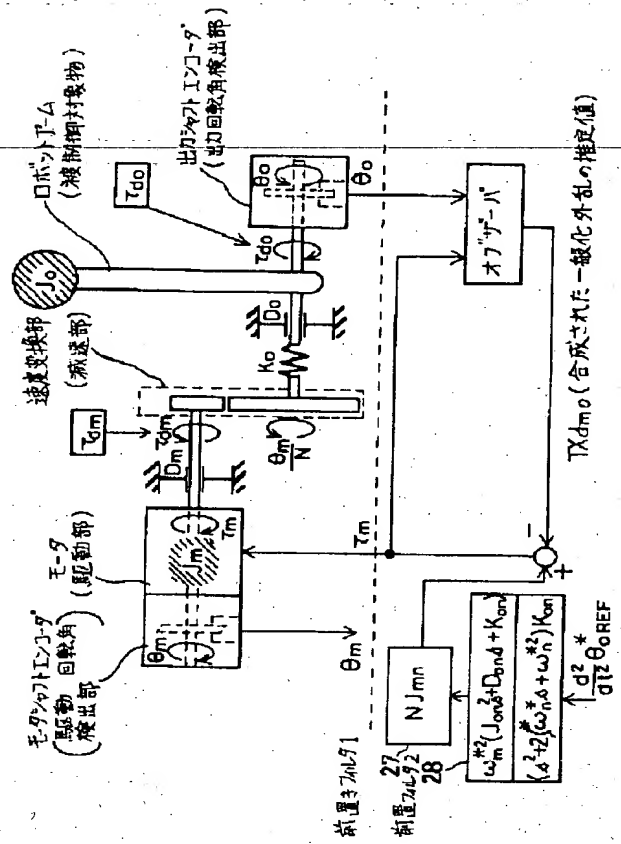
【図 3】

本発明の実施例 2



【図 4】

本発明の実施例 3



【図 6】

従来の技術の説明図 2

